

## 大学女子バレーボール選手のスパイクジャンプと カウタームーブメントジャンプにおける地面反力の比較

### Comparison of Ground Reaction Forces between Spike Jump and Countermovement Jump in Collegiate Female Volleyball Players

飯田 周平, 木内 聖, 尹 鉉喆, 平野 智也, 船渡 和男

Shuhei IIDA, Akira KIUCHI, Hyunchul YOON, Tomoya HIRANO and Kazuo FUNATO

#### ABSTRACT

This study aimed to characterize the mode of exertion of ground reaction force in spike jumps by comparing the ground reaction force in spike jumps and vertical jumps among collegiate female volleyball players. Seven collegiate female volleyball players participated in this study to compare body center of gravity (COM) and vertical ground reaction force in spike jump and countermovement jump (CMJ). In terms of parameters related to COM, spike jumps showed significantly higher values of maximum COM height and COM vertical velocity at take-off compared to CMJs. In addition, the spike jump had a significantly shorter contact time and significantly higher left-right foot and total vertical ground reaction force than the CMJ. These results suggest that the spike jumpers obtained a higher center of gravity height by exerting a greater vertical ground reaction force with a shorter contact time than the CMJ.

*Key words: Volleyball, Spike Jump, Countermovement Jump, Ground Reaction Force*

#### I. 緒 言

バレーボールのスパイク動作では、ボールを打つ前の予備動作として、助走を用いた両足踏切ジャンプ（スパイクジャンプ）が用いられる。ZivとLidor<sup>1)</sup>やSattlerら<sup>2)</sup>は、競技レベルが高いチームの選手は跳躍高が高いことを報告しており、

バレーボール選手にとって跳躍力を高めることは競技力向上に有益であると考えられる。

これまでに、HeyとReid<sup>3)</sup>は垂直跳びにおける跳躍高を決定付ける要因についてのモデルを示している。このモデルでは、最大重心高を決定する要因の1つが空中での重心鉛直変位とされている。空中での重心鉛直変位にはテイクオフ時の重心鉛

直速度が関係しており、テイクオフ時の重心鉛直速度は踏切において重心の最下点からテイクオフまでに獲得した鉛直地面反力の力積によって決定される。したがって、垂直跳びの跳躍高を高めるためには、踏切中に鉛直地面反力を大きくすることが重要となる。

一方、バレーボールのスパイクでは1から3ステップの助走を用いて腕振りと下肢の反動動作を使用したジャンプを行う。助走を用いない垂直跳びにおいて、先行研究では下肢の反動動作<sup>4-6)</sup>や腕振り動作<sup>6-9)</sup>によって跳躍高が増加することが報告されている。したがって、スパイクジャンプでも腕振りや下肢の屈曲伸展動作を行うことから、これらの動作が垂直跳びと同様に跳躍高へ影響を及ぼすことが予想される。これまでに、バレーボールのスパイクジャンプとカウンタームーブメントジャンプ (CMJ) の運動学的差異を検討した先行研究<sup>10)</sup>では、対称性のあるCMJと比較して、スパイクジャンプでは四肢間に非対称的な動作が生じることが報告されている。また、スパイクジャンプにおける地面反力に関する研究<sup>11)</sup>は、片脚と両脚ジャンプの条件間の比較に留まっており、スパイクジャンプにおける両脚踏切での地面反力の特徴は示されていない。

そこで本研究では、スパイクジャンプとCMJにおける地面反力を比較することで、大学女子バレーボール選手のスパイクジャンプにおける地面反力の発揮様式の特徴を明らかにすることを目的とした。

## II. 方法

### 1. 対象者

本研究では関東大学バレーボールリーグ1部所属チームの女子バレーボール選手7名(年齢:  $20.2 \pm 0.8$  歳、身長:  $1.70 \pm 0.06$ m、体重:  $67.0 \pm 11.0$ kg)を対象とした。対象者は全員右利きであり、ポジションはオポジット2名、リベロ2名、セッター2名、アウトサイドヒッター1名であっ

た。対象者には本研究の趣旨、内容および安全性に関する説明を事前に行い、参加の同意を書面にて得た。本研究は、国士舘大学研究倫理評価委員会の承諾(承諾番: 21023)を得て実施された。

### 2. 運動課題と実験手順

実験に先立ち、対象者は黒のスパッツ、水泳帽およびバレーボールシューズを着用した。身体重心(COM)算出のため、Plug-in Gait modelに基づき、対象者の解剖学的特徴点に39個の反射マーカーを取り付けた。さらに、軽いストレッチやジャンプ等の準備運動を行う時間や実験に慣れるために十分な練習時間を設けた。

本研究の実験試技は、助走を伴うスパイクジャンプと腕振りを用いたCMJとした。スパイクジャンプは、1歩目に右足、2歩目に左足を接地し、3・4歩目に両脚での踏切を行った。対象者にはどちらの試技も両腕を高く振り上げることと最大限高く跳ぶことを意識するように指示した。各試技は、2回測定した。

### 3. データ収集と解析

両試技の踏切中の地面反力を測定するために4枚のフォースプレート(Kistler社)を使用し、サンプリング周波数は1000Hzとした。また、跳躍中のCOMパラメーターの算出のために、光学式3次元モーションキャプチャシステム(VICON MX, VICON社)を使用し、サンプリング周波数は200Hzとした。

データ処理において、解剖学的特徴点の3次元位置座標および地面反力データは、残差分析を用いて最適遮断周波数を決定した後、4次のバターワースローパスフィルターで平滑化した(位置座標データ13Hz、地面反力データ30Hz)。地面反力データは、位置座標データと同じ200Hzにダウンサンプリングして分析を行った。

データ解析は、Nexus 2.11.0(VICON)を用いて行った。COMは、マーカー39点および測定した身体情報(身長、体重、左右上前腸骨棘距離、

脚長、膝幅、踝幅、肩オフセット値、肘幅、手首幅、掌厚み)をもとにPlug-in Gait modelにより算出した。COM算出の後、分析は空中におけるCOM高が高い試技を対象とした。

ジャンプ動作の解析区間について、スパイクジャンプは右足接地から両足のテイクオフまでとした。CMJは、COMの鉛直速度が負の値を示した瞬間(身体が下降する)を動作開始とし、両足のテイクオフまでとした。踏切局面は、COMが最小となった瞬間を基準に、前半を下降局面、後半を上昇局面と定義した。

COMに関するパラメーターについては、最大COM高、テイクオフ時のCOM高、空中におけるCOM鉛直変位およびテイクオフ時のCOM鉛直速度を算出した。空中におけるCOM鉛直変位は、最大COM高からテイクオフ時のCOM高を差し引くことで算出した。COM鉛直速度はCOM鉛直変位の数値微分により算出した。

地面反力に関するパラメーターについては、左右足および2枚のフォースプレートの合計(以下、合計)の鉛直地面反力のピーク値を算出した。地面反力は対象者の体重で除すことで正規化した。有効力積は、体重を差し引いた鉛直地面反力を時間積分し、体重で除すことで算出した。

#### 4. 統計解析

各変数は平均値±標準偏差で示した。統計処理は、SPSS Statistics Version27.0 (IBM社製)を使用した。各変数には、Shapiro-Wilk検定を用いて正規性検定を行った。正規性が確認されなかったため、スパイクジャンプとCMJにおける各変数の比較にはWilcoxonの符号付き順位検定を行った。有意水準は5%未満とした。

### Ⅲ. 結果

図1にスパイクジャンプとCMJにおける踏み切り局面のCOM鉛直変位と速度の平均波形を示した。スパイクジャンプは、CMJと比較して、踏切局面におけるCOMの鉛直変位が小さく、鉛直速度が大きい傾向があった。

表1にスパイクジャンプとCMJにおけるCOMに関するパラメーターの比較を示した。スパイクジャンプの最大重心高は、CMJと比較して、有意に大きな値を示した( $p < 0.05$ )。

図2にスパイクジャンプとCMJにおける踏み切り局面の鉛直地面反力の平均波形を示した。スパ

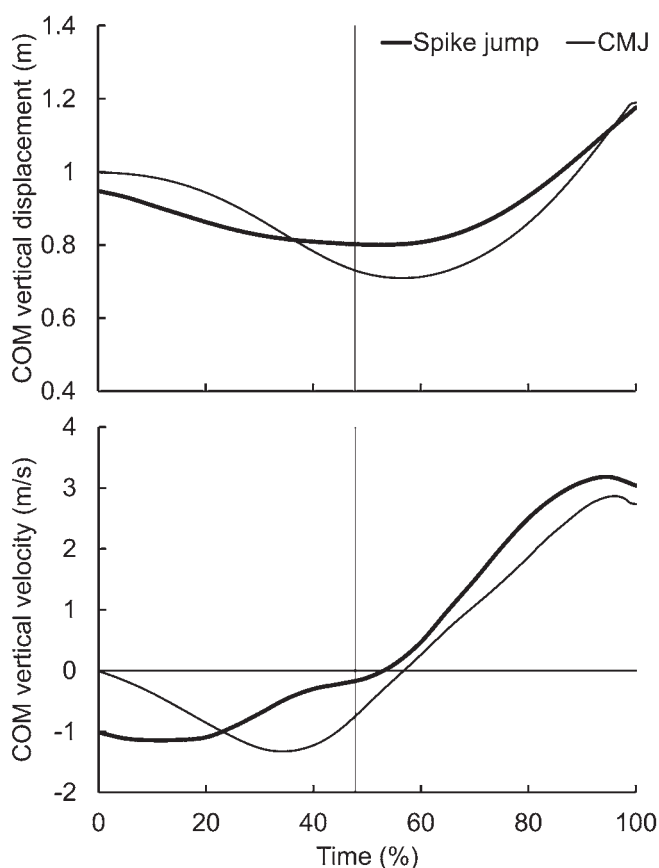


図1 スパイクジャンプとCMJにおける踏み切り局面のCOM鉛直変位と速度の平均波形  
縦線はスパイクジャンプにおける平均の左足接地時刻を示す。

表1 スパイクジャンプとCMJにおけるCOM高と速度の比較

Variables	Units	Spike jump		CMJ	
		Mean	SD	Mean	SD
Maximum COM height		1.580	0.076	1.506	0.066*
Takeoff COM height	m	1.176	0.049	1.189	0.047*
COM vertical displacement		0.404	0.051	0.316	0.048*
Takeoff COM vertical velocity	m/s	3.041	0.247	2.736	0.272*

\*: p<0.05.

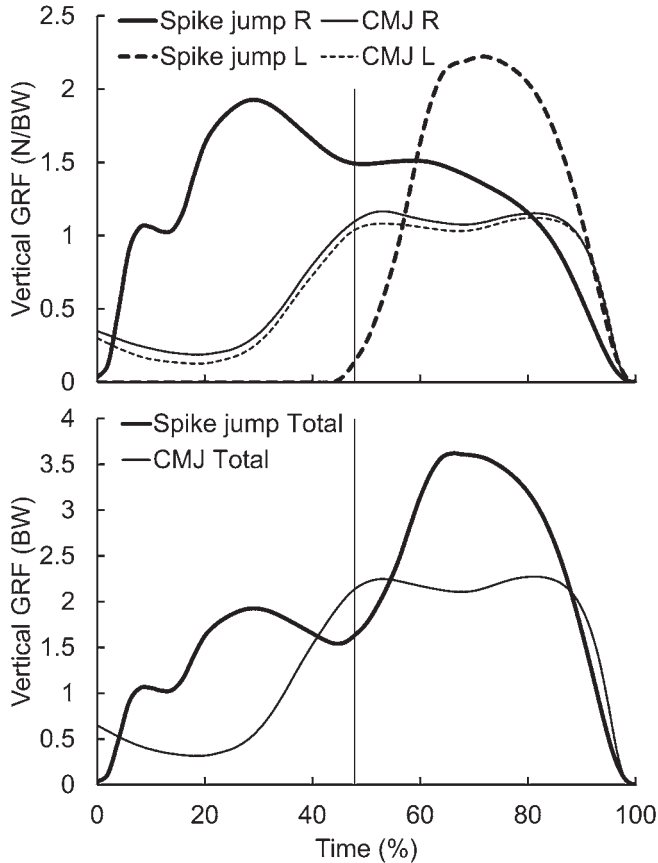


図2 スパイクジャンプとCMJにおける踏み切り局面の鉛直地面反力の平均波形  
縦線はスパイクジャンプにおける平均の左足接地時刻を示す。

イクジャンプにおける鉛直地面反力は、CMJと比較して、左右足と合計ともに大きい傾向があった。

表2にスパイクジャンプとCMJにおける地面反力の比較を示した。踏切の上昇局面開始時において、スパイクジャンプの鉛直地面反力は、CMJと比較して、右足が有意に大きく ( $p < 0.05$ )、左

足および合計が有意に小さな値を示した ( $p < 0.05$ )。踏切の上昇局面において、スパイクジャンプの鉛直地面反力ピーク値は、CMJと比較して、右足、左足および合計ともに有意に大きく ( $p < 0.05$ )、有効力積も有意に大きな値を示した ( $p < 0.05$ )。

表2 スパイクジャンプとCMJにおける時間および地面反力変数の比較

Variables	Units	Spike jump		CMJ		
		Mean	SD	Mean	SD	
Contact time		0.40	0.02	0.67	0.06*	
Descent time	s	0.21	0.02	0.38	0.04*	
Ascent time		0.19	0.02	0.29	0.03*	
Ascent phase @beginning	Right	1.51	0.13	1.10	0.09*	
	Left	N/BW	0.53	0.50	1.15	0.09*
	Total		2.04	0.52	2.25	0.13
Ascent phase	Right	1.54	0.12	1.16	0.07*	
	Left	N/BW	2.29	0.37	1.20	0.09*
	Total		3.74	0.33	2.35	0.14*
Effective impulse	Total	Ns/kg	2.84	0.18	2.51	0.20*

\*: p<0.05.

#### IV. 考 察

本研究では、スパイクジャンプと垂直跳びにおける地面反力を比較することで、大学女子バレーボール選手のスパイクジャンプにおける地面反力発揮様式の特徴を明らかにすることを目的とした。その結果、スパイクジャンプはCMJと比較して最大重心高が有意に高く、テイクオフ時のCOM鉛直速度が有意に大きいことが確認された。また、踏切局面におけるスパイクジャンプの鉛直地面反力はCMJと比較して左右足および合計ともに有意に大きな値を示した。したがって、スパイクジャンプでは、左右足で大きな地面反力を獲得することによって、COMの鉛直速度と最大重心高を高めていたことが示唆された。

COMに関するパラメーターに着目すると、スパイクジャンプではCMJと比較して高い最大重心高が記録された。この理由をHayとRei<sup>3)</sup>の跳躍高決定モデルに基づいて考えると、跳躍高はテイクオフ時の重心高と空中での重心鉛直変位によって決定される。本研究では、テイクオフ時の重心高には条件間でほとんど差がなかったことから、空中での重心鉛直変位が最大重心高に関係しているものと考えられる。空中での重心鉛直変位はテイクオフ時の重心鉛直速度により決定される。ここでは、スパイクジャンプのテイクオフ時

の重心鉛直速度はCMJよりも有意に大きかった。テイクオフ時の重心鉛直速度は踏切局面における重心最下点以降で獲得された鉛直地面反力の力積により決定されるため、次いで地面反力パラメーターについて検討した。

地面反力パラメーターに着目すると、スパイクジャンプの踏切における上昇期の有効力積はCMJよりも有意に大きな値を示した。大きな力積を獲得するためには、踏切において上昇期を長くする、もしくは短時間で大きな鉛直地面反力を生み出すことが必要となる。本研究では、スパイクジャンプの踏切時間、下降時間および上昇時間はCMJよりも有意に短かった。このことから、スパイクジャンプでは、短時間で大きな力を発揮することにより力積を獲得していることが確認された。先行研究において、助走を伴うスパイクジャンプはドロップジャンプとCMJが組み合わさった動作として表現されている<sup>12)</sup>。また、ドロップジャンプやCMJは伸張-短縮サイクルの動作であり、下肢の筋のコンセントリック収縮前にエキセントリックな伸張が発生する<sup>13)</sup>。したがって、本研究のスパイクジャンプでは、3歩の助走によって、伸張-短縮サイクルの遂行能力が高められた結果としてCMJよりも高い重心高が獲得できたものと考えられた。

今後の研究では、スパイクジャンプが高く跳べ

るプレーヤーと跳べないプレーヤーの跳躍動作の比較やCMJが高く跳べるにも関わらずスパイクジャンプでは高く跳べないプレーヤーの跳躍動作を明らかにすることを課題とする。

## V. 結 論

本研究は、スパイクジャンプと垂直跳びにおける地面反力を比較することで、大学女子バレーボール選手のスパイクジャンプにおける地面反力発揮様式の特徴を明らかにすることを目的とした。その結果、スパイクジャンプではCMJと比較して短い接地時間で大きな鉛直地面反力を発揮することによって、より高い重心高を獲得していることが示唆された。

## 謝辞

本研究の実施にあたり、本学スポーツ・システム研究科修士の長沼舜氏に多大な協力を頂いたことに感謝申し上げます。

## 文献

- 1) Ziv G, Lidor R : Vertical jump in female and male volleyball players : a review of observational and experimental studies, *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20 : 556-567, 2010.
- 2) Sattler Tine, Hadžić Vedran, Dervišević Edvin, Marković Goran : Vertical jump performance of professional male and female volleyball players : Effects of playing position and competition level, *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29 : 1486-1493, 2015.
- 3) Hay James G, Reid J Gavin, *Anatomy, mechanics, and human motion*, Prentice Hall, 1988.
- 4) Bobbert Maarten F, Gerritsen Karin GM, Litjens Maria CA, Van Soest Arthur J : Why is countermovement jump height greater than squat jump height?, *Medicine and science in sports and exercise*, 28 : 1402-1412, 1996.
- 5) Bobbert MAARTEN F, Casius LJ : Is the effect of a countermovement on jump height due to active state development, *Med Sci Sports Exerc*, 37 : 440-446, 2005.
- 6) Hara Mikiko, Shibayama Akira, Takeshita Daisuke, Hay Dean C, Fukashiro Senshi : A comparison of the mechanical effect of arm swing and countermovement on the lower extremities in vertical jumping, *Human movement science*, 27 : 636-648, 2008.
- 7) Feltner Michael E, Franchetti Daniel J, Crisp Robert J : Upper extremity augmentation of lower extremity kinetics during countermovement vertical jumps, *Journal of sports sciences*, 17 : 449-466, 1999.
- 8) Lees Adrian, Vanrenterghem Jos, De Clercq Dirk : Understanding how an arm swing enhances performance in the vertical jump, *Journal of biomechanics*, 37 : 1929-1940, 2004.
- 9) Hara Mikiko, Shibayama Akira, Takeshita Daisuke, Fukashiro Senshi : The effect of arm swing on lower extremities in vertical jumping, *Journal of biomechanics*, 39 : 2503-2511, 2006.
- 10) Wagner Herbert, Tilp Markus, Von Duvillard SP, Müller Erich : Kinematic analysis of volleyball spike jump, *International journal of sports medicine*, 30 : 760-765, 2009.
- 11) Tai Wei-Hsun, Peng Hsien-Te, Song Chen-Yi, Lin Jian-Zhi, Yu Hai-Bin, Wang Li-I : Dynamic characteristics of approach spike jump tasks in male volleyball players, *Applied Sciences*, 11 : 2710, 2021.
- 12) Sattler Tine, Sekulic Damir, Hadžić Vedran, Uljević Ognjen, Dervišević Edvin : Vertical jumping tests in volleyball : reliability, validity, and playing-position specifics, *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26 : 1532-1538, 2012.
- 13) Komi Paavo V, Bosco Carmelo : Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women, *Medicine and science in sports*, 10 : 261-265, 1978.